

УДК 621.787

## **СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ МЕТОДА УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН В ИНТЕГРИРОВАННЫХ САПР**

**М.Е. ПОПОВ, М. АБУХАРЬ**

(Донской государственный технический университет)

*Рассмотрены вопросы формализации задачи выбора метода упрочняющей обработки в процессе конструкторского и технологического проектирования машин в интегрированных САПР. Сформулированы прямая и обратная задачи выбора метода упрочняющей обработки. Предложена система поддержки принятия решения при выборе метода упрочняющей обработки деталей машин в интегрированных САПР.*

**Ключевые слова:** формализация задачи выбора, упрочняющая обработка, прямая и обратная задачи, интегрированные САПР.

**Введение.** Качество ответственных деталей машин, их механические и физико-механические свойства в значительной степени зависят от упрочняющей обработки, применяемой на различных стадиях производства. Однако выбор методов, способов и технологии упрочняющей обработки деталей недостаточно формализован, что при частой смене моделей объектов производства приводит к необходимости длительной отработки технологии упрочняющей обработки новых деталей непосредственно на стадии их производства. В современном производстве при использовании интегрированных САПР эта задача должна эффективно решаться ещё на стадии проектирования и технологической подготовки производства новых изделий.

Таким образом, разработка теоретических вопросов выбора, вида и метода упрочняющей обработки деталей на стадии проектирования и технологической подготовки производства машин имеет большое научное и практическое значение для создания интегрированных САПР. Это создаёт условия для обеспечения заданных эксплуатационных свойств ещё на стадии проектирования ответственных деталей и технологических процессов их упрочняющей обработки, для достижения требуемых характеристик качества поверхностного слоя и точности размеров обрабатываемых поверхностей, определяющих основные эксплуатационные свойства деталей машин.

**Постановка задачи.** Решение любой задачи на ЭВМ требует наличия аналитических или других видов зависимостей, которые отражают количественную, а не качественную сторону процесса проектирования. Поэтому для осуществления выбора и технологического проектирования операций упрочняющей обработки с помощью ЭВМ необходимо провести формализацию технологической задачи (или ее части), т.е. провести замену (преобразование) содержательного описания задачи математическими зависимостями и соотношениями [1-3].

Этот процесс, называемый формализацией, обеспечивает возможность создания универсальных алгоритмов и программ относительно конечных и начальных условий, т.е. относительно формы и размеров детали, типа производства, характеристик технологического оборудования и оснастки. Тем самым обеспечивается эффективное применение ЭВМ при проектировании технологических процессов упрочняющей обработки деталей различной формы и размеров.

Формализация задачи превращает процесс технологического проектирования из процесса рассуждений и построения аналогий в процесс строгого расчета. При этом процедуры проектирования структуры технологических процессов и его составных элементов могут быть выражены с помощью аппарата математической логики, содержание технологического процесса, характеризующее рядом свойств объектов технологии, – средствами теории множеств, а качественные отношения – количественными зависимостями и с помощью логических функций.

Одной из трудностей процесса формализации является то, что существующие в технологии машиностроения эмпирические зависимости количественных отношений выражаются таблицами, имеющими большое число значений, либо формулами, не учитывающими различные усло-

вия производства. Основываясь на математическом анализе и статическом исследовании, таблицы и эмпирические формулы можно заменить математическими выражениями, которые исключают эти недостатки. В этом случае повышается эффективность и точность расчета технологических параметров и уменьшается загрузка памяти ЭВМ.

Однако следует отметить, что такие расчеты для операций упрочняющей обработки формализовать гораздо труднее, чем расчеты параметров для процессов обработки деталей резанием на металлорежущих станках, изученных более подробно и описываемых более строгими теоретическими и эмпирическими зависимостями.

**Принципы формализации задачи выбора.** Проектирование и оптимизация технологических процессов упрочняющей обработки является сложной задачей, так как требует учета большого числа факторов, влияющих на результаты процесса. Большое число факторов не позволяет получить строгие функциональные зависимости для выбора метода и расчета оптимальных технологических параметров упрочняющей обработки деталей машин. Эта задача может быть решена двумя путями.

Первый путь – применение типовых технологических решений. На практике, в целях обеспечения выбора метода упрочняющей обработки пользуются перечнем методов, применяемых для обработки типовых поверхностей или типовых деталей. При этом сужается количество групп рассматриваемых методов упрочняющей обработки, однако, если иметь в виду и другие требования, то необходима дальнейшая конкретизация критериев для последующего сужения круга объектов выбора.

Второй путь – создание автоматизированного банка методов упрочняющей обработки для поиска и выбора с использованием ЭВМ метода упрочняющей обработки, наиболее целесообразного для конкретной обрабатываемой детали. Под таким банком подразумеваются хранящиеся в памяти машины все известные методы упрочняющей обработки с перечислением их технологических параметров и стандартные программы, допускающие обновление и необходимую обработку имеющейся информации.

В общем виде модель метода упрочняющей обработки может быть представлена системой (рис.1), характеризующей внутренними свойствами  $X$ , внешними свойствами  $Y$  и свойствами окружающей среды  $Z$  (рис.1).

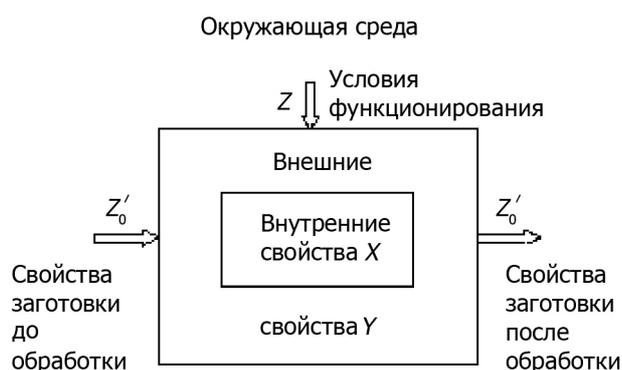


Рис.1. Системная модель метода упрочняющей обработки

Внутренние свойства метода упрочняющей обработки характеризуются физическим принципом действия (поверхностное пластическое деформирование, термическая обработка, химико-термическая обработка), формой его реализации (в защитных газах, в магнитном поле, ...), применяемой технологической оснасткой (стальные шары, ролики, ...).

Внешние свойства метода упрочняющей обработки можно разделить на свойства назначения (производительность, скорость, мощность, ...) и экономической эффективности.

Параметры окружающей среды определяются требованиями к исходным заготовкам и свойствами обработанной детали, а также свойствами, определяющими условия функционирования (пыль, газ, вибрации, ...).

Функция метода поверхностной упрочняющей обработки состоит в преобразовании  $\varphi$  обрабатываемой поверхности из начального (исходного) состояния  $C_n$  в конечное состояние  $C_k$  и описывается отношением

$$\varphi : C_n \rightarrow C_k.$$

Состояние поверхностного слоя  $C_k$  (качество поверхности) деталей задаётся набором параметров, описывающих макро- и микрогеометрию поверхности и физико-механические свойства поверхностного слоя:

$$C_k = \{\Delta_\phi, \Delta_p, \Delta_n, W, R_a, S_\mu, H_\mu, \sigma_0, h, \dots\},$$

где  $\Delta_\phi, \Delta_p, \Delta_n$  – погрешности формы, размера и положения поверхности, мм;  $W, R_a$  – высота макро- (волнистость) и микронеровностей (среднее арифметическое отклонение профиля) поверхности, мкм;  $S_\mu$  – микроструктура материала поверхностного слоя;  $H_\mu$  – микротвёрдость (наклёп) поверхностного слоя, кПа;  $\sigma_0$  – остаточные напряжения в материале поверхностного слоя, кПа;  $h$  – толщина упрочнённого слоя, мм.

Если состояние поверхности  $C_n$  и  $C_k$  задано только двумя параметрами, например  $R_a$  и  $H_\mu$ , то оно отображается точкой в пространстве этих параметров, а дуга, связывающая эти точки, отображает реализацию функции метода поверхностной упрочняющей обработки, т.е. функцию преобразования  $\varphi$  обрабатываемой поверхности из начального состояния  $C_n$  в конечное  $C_k$  (рис.2). Причём в результате обработки по отношению к начальному состоянию значение одного или нескольких параметров может улучшаться, ухудшаться или оставаться неизменным (см. рис.2). Вид преобразования  $\varphi$  определяется названием технологического метода упрочняющей обработки, например, дорнование, выглаживание, накатывание, виброгалтовка, виброобкатывание и т.д.

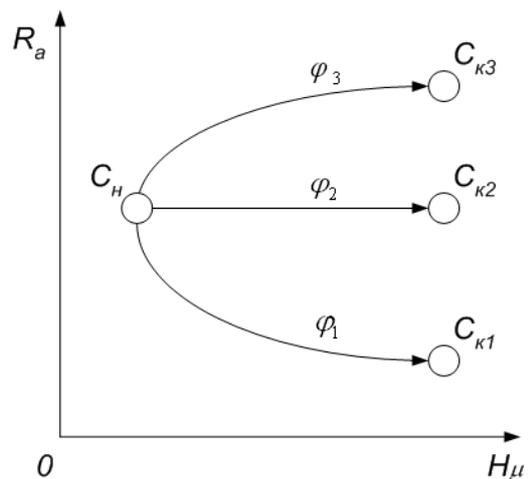


Рис.2. Возможные реализации функции метода поверхностной упрочняющей обработки

В характеристики метода упрочняющей обработки входят такие элементы, как типоразмеры инструментов, величина припуска или натяга, число проходов, скорость обработки, подача, а также машинное и вспомогательное время обработки.

Структура метода упрочняющей обработки как совокупность упорядоченных во времени технологических приёмов описывается графом  $S_n(W, \Omega)$ . В этом графе множеству вершин  $W$  соответствуют основные и вспомогательные приёмы, а множеству дуг  $\Omega$  – отношения, характеризующие методы совмещения приёмов во времени (последовательный, параллельный и параллельно-последовательный). Дуги графа структуры метода упрочняющей обработки указывают порядок, в котором должны следовать приёмы и время между началом  $i$ -го и  $j$ -го приёмов.



При выборе метода упрочняющей обработки трудно обеспечить полное совпадение всех физико-механических и других параметров с заданными эталонными значениями. Поэтому рассматриваемая задача сводится к определению метода упрочняющей обработки, наиболее близко стоящего по своим параметрам к эталонному методу  $M_0$ , т.е. к удовлетворению условия близости: минимум функционала  $F(M_i, M_0)$ .

Процесс минимизации может осуществляться по нескольким типам минимизирующих функционалов, например:

$$F(M_i, M_0) = \sqrt{\sum_{j=1}^m (X_j^{(i)} - X_j^{(0)})^2 \cdot \rho_j},$$

где  $X_j^{(i)}$  и  $X_j^{(0)}$  – параметры упрочненного слоя для рассматриваемого метода упрочняющей обработки и эталонные, требуемые по условиям эксплуатации детали;  $\rho_j$  – весовые функции, определяющие степень важности параметра.

**Учёт рассеивания конструкторско-технологических параметров.** В общем случае параметры  $X_j^{(i)}$  и  $X_j^{(0)}$  представляют случайные величины и характеризуются математическим ожиданием  $\bar{X}_j^{(i)}, \bar{X}_j^{(0)}$  и дисперсией  $(\sigma_{x_j}^{(i)}, \sigma_{x_j}^{(0)})$ . Тогда заштрихованная область на рис.3 характеризует вероятность достижения требуемых свойств обрабатываемой детали при применении  $i$ -го метода упрочняющей обработки.

На практике обычно на параметры свойств детали устанавливается номинал в середине поля допуска. Но это интуитивное решение является априорно оптимальным лишь в том весьма частном случае, когда одновременно имеет место:

- а) симметричный (по отношению к номиналу) закон распределения отклонений параметра;
- б) одинаковая (симметричная по отношению к центру допуска) цена годной продукции и одинаковая стоимость продукции, выходящей за пределы допуска.

Практически, в очень большом числе реальных случаев имеет место несимметричное распределение цены результата. Во всех этих случаях подлежит исследованию вопрос о целесообразном смещении номинала относительно середины допуска, т.е. смещении, создающем наибольшее математическое ожидание цены результата.

Метод оптимума номинала [4] позволяет для любого известного закона распределения отклонений и заданного распределения цен результата определить такое смещение номинала от середины поля допуска, которое дает наибольшее значение математического ожидания цены результата – наибольшую интегральную потребительскую эффективность  $U^i(X)$ .

Математическое ожидание  $E$  (Expectation) интегрального показателя потребительской ценности  $U^i(X)$  по каждой  $i$ -й альтернативе ( $i=1, 2, \dots, n$ ) по совокупности показателей  $X = [x_j]_j^m = 1$  может быть определено по формуле [5]

$$E[U^i(X)] = \frac{1}{K} \left\{ \left[ \prod_{j=1}^m (K \cdot w_j E[U_j(x_j)] + 1) \right] - 1 \right\},$$

где  $E[U_j(x_j)] = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} U_j(x_j) \cdot f(x_j) dx_j$ ;  $f(x_j)$  – функция (закон) распределения плотности вероятности  $j$ -го ( $j=1, 2, \dots, m$ ) единичного критериального показателя (параметра)  $x_j$ ;  $U_j(x_j)$  –

функция потребительской ценности для  $j$ -го ( $j=1, 2, \dots, m$ ) единичного критериального показателя  $x_j$ ;  $x_j$  – требуемый уровень  $j$ -го критериального показателя ( $j=1, 2, \dots, m$ );  $w_j$  – весовой коэффициент каждого  $j$ -го ( $j=1, 2, \dots, m$ ) критериального показателя,  $\sum_{j=1}^m \omega_j = 1$ ;

$K$  – постоянная нормализации.

Для иллюстрации рассмотрим пример выбора метода упрочнения (восстановления) деталей машин. Как видно из табл.1, значения единичных показателей варьируют в широких пределах [6]. Соответственно имеет место и рассеивание значений интегрального показателя потребительской ценности  $U^j(X)$  (табл.2).

Таблица 1

Технико-экономические показатели методов упрочнения

№ п/п	Методы, варианты методов и их разновидности	Твердость нанесенного покрытия, HRC	Толщина слоя материала за один проход, мм	Производительность, кг/ч	Удельная себестоимость (1 г) покрытия, коп.
Металлизация:					
1.	плазменно-дуговая	18-61	0,05-10,0	0,8-12,0	1,398-1,95
2.	электродуговая	20-42	0,10-3,0	2,5-38,0	0,146-0,758
3.	высокочастотная	20	0,05-12,0	4,0-12,0	0,237-0,370
4.	газовая	43-48	0,05-12,0	0,8-20,0	0,129-0,784
Наплавка:					
5.	электродуговая	14-63	0,1-20,0	1,8-60,0	-
6.	автоматическая под слоем флюса	17-62	0,5-20,0	1,8-60,0	0,308-0,337
7.	порошковыми проволоками	21-60	2,5-3,0	2,0-20,0	0,254-0,434
8.	в среде защитных газов	20-62	0,8-4,0	1,56-4,4	0,242-0,474
9.	электроимпульсная	30-70	0,4-0,75	1,0	0,907-0,949
10.	вибродуговая	14-63	0,5-5,0	0,6-4,4	0,279-0,746
11.	плазменная	32-70	0,1-12,0	2,0-18,0	0,062-0,373
12.	индукционная	46-63	0,3-5,0	20,0	0,748-0,751
13.	электрошлаковая	51-62	10,0-20,0	10-60	0,028-0,039
14.	в среде водяного пара	12-26	1,0-3,0	2,0-2,8	0,182-0,387
15.	ручная (электродами)	25-63	0,1-3,0	0,4-4,0	0,192-1,64
16.	газовая	13-42	0,5-1,5	1,44	0,288
Гальванопокрытие:					
17.	хромирование	35-72	0,05-1,0	0,007-0,025	16,644-57,502
18.	железнение	21-62	0,1-5,0	0,011-0,085	6,58-37,13
19.	никелирование	24-72	0,05-1,5	0,018-0,036	11,8-223,98

Таблица 2

Рассеивание значений интегрального показателя потребительской ценности  $U^i(X)$

№ п/п	Метод упрочнения (восстановления)	$E[U(X)]$	$f_{max}[U(X)]$	$\Delta U(X)$	$U(X)_{min}$	$U(X)_{max}$	$\sigma_{U(X)}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Металлизация:							
1.	плазменно-дуговая	0,496	0,22	0,322	0,335	0,657	0,054
2.	электродуговая	0,472	0,30	0,242	0,351	0,594	0,040
3.	высокочастотная	0,429	0,49	0,146	0,356	0,503	0,024
4.	газовая	0,547	0,35	0,206	0,444	0,649	0,034

Окончание табл.2

1	2	3	4	5	6	7	8
Наплавка:							
5.	электродуговая	0,326	0,15	0,487	0,082	0,569	0,081
6.	автоматическая под слоем флюса	0,632	0,12	0,582	0,341	0,923	0,097
7.	порошковыми проволоками	0,494	0,62	0,232	0,378	0,611	0,039
8.	в среде защитных газов	0,466	0,32	0,222	0,355	0,577	0,037
9.	электроимпульсная	0,479	0,41	0,175	0,392	0,567	0,029
10.	вибродуговая	0,457	0,27	0,268	0,323	0,592	0,045
11.	плазменная	0,569	0,21	0,336	0,402	0,737	0,056
12.	индукционная	0,583	0,60	0,120	0,523	0,643	0,020
13.	электрошлаковая	0,766	0,23	0,314	0,609	0,923	0,052
14.	в среде водяного пара	0,366	0,87	0,083	0,325	0,408	0,014
15.	ручная (электродами)	0,467	0,35	0,206	0,364	0,570	0,034
16.	газовая	0,389	0,54	0,134	0,322	0,457	0,022
Гальванопокрытие:							
17.	хромирование	0,442	0,32	0,223	0,331	0,554	0,037
18.	железнение	0,432	0,27	0,266	0,299	0,564	0,044
19.	никелирование	0,314	0,14	0,503	0,062	0,565	0,084

На рис.4 показаны кривые распределения интегрального показателя потребительской ценности  $U(X)$  для некоторых методов упрочнения. Из табл.1 и рис.4 видно, что имеет место пересечение кривых распределения одновременно нескольких методов упрочнения. Поэтому их выбор необходимо производить с учетом наибольшей вероятности достижения цели.

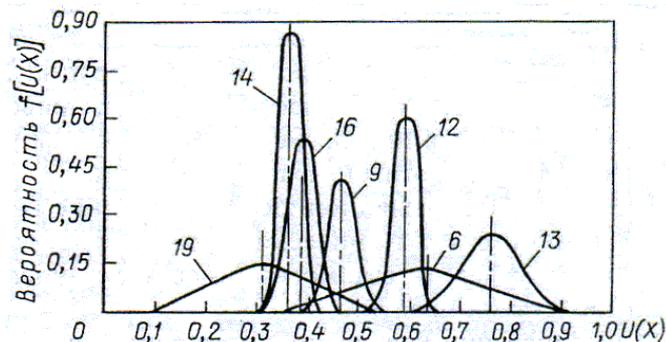


Рис.4. Кривые распределения плотности вероятности  $U(X)$  для различных методов упрочняющей обработки: 6, 9, 12, 13, 14, 16, 19 (см. табл.1)

Совокупность всех методов упрочняющей обработки назовём обрабатывающей (производственной) системой  $P$ , а совокупность всех деталей, подлежащих упрочняющей обработке, назовём объектами обработки  $A$ . Если объект  $A$  рассматривается как неструктурированный, то его модель включает в себя множество  $F(A)$  контуров (требуемых свойств) и набор отношений между ними, описываемых булевой матрицей контуров  $[A \times F(A)]$  обрабатываемых деталей [7].

При моделировании воздействия обрабатывающей системы  $P$  на объект  $A$  математическая модель системы  $P$  называется моделью производственной среды (системы), включающей в себя множество  $F(P)$  контуров (свойств), достигаемых системой, и набор отношений между ними, описываемых булевой матрицей контуров  $[P \times F(P)]$  элементов обрабатывающей системы и булевой матрицей  $[P \times P]$  взаимосвязи элементов  $P$ .

Для осуществления процесса упрочняющей обработки объекта  $A$  с составом контуров  $F(A)$  в обрабатывающей системе  $P$  необходимо, чтобы

$$F(A) \subseteq F(P), \quad (1)$$

или на логическом уровне описания

$$F(A) = F(P) \wedge F(A). \quad (2)$$

Модель производственной среды в виде автоматизированного банка знаний и банка данных методов упрочняющей обработки деталей можно использовать для решения различных задач, в том числе для решения прямой и обратной задачи технологического проектирования (рис.5).

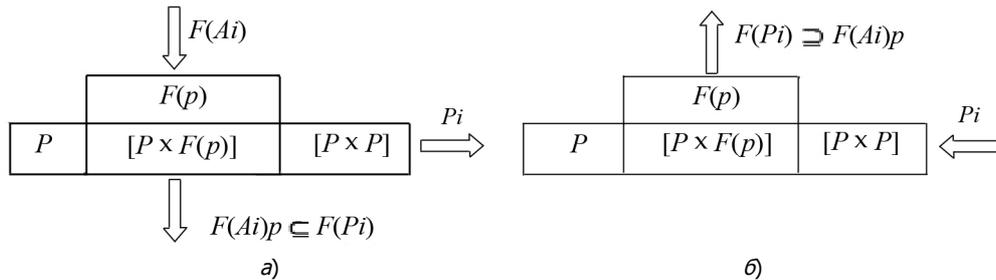


Рис. 5. Прямая (а) и обратная (б) задачи выбора метода упрочняющей обработки на модели производственной системы в интегрированных САПР

При решении прямой задачи (см. рис.5, а) на вход модели поступают данные о контурах (требуемых свойствах) объекта обработки  $F(Ai)$ ; на выходе получают набор контуров  $F(Pi)$  и элементов  $Pi$  производственной системы, участвующих в обеспечении контуров (требуемых свойств) объекта  $Ai$ , при этом будет достигнут полный состав контуров объекта  $F(Ai)p \subseteq F(Pi)$ . Очевидно, если  $F(Ai)p = F(Pi)$ , то выполняются условия (1) и (2), и объект может быть изготовлен в данной производственной системе.

Обратная задача технологического проектирования (см. рис.5, б) решается по той же модели производственной системы; отличие от прямой задачи заключается в том, что входом является набор  $Pj$  элементов производственной системы, а выходом – состав контуров  $F(Pj)$ , характеризующих контуры всех возможных объектов  $A$ , которые могут быть реализованы в заданной производственной системе.

Рассмотренные теоретические подходы [8] были использованы при создании интеллектуальной системы поддержки принятия решения при выборе метода упрочняющей обработки деталей машин в интегрированных САПР (рис.6).

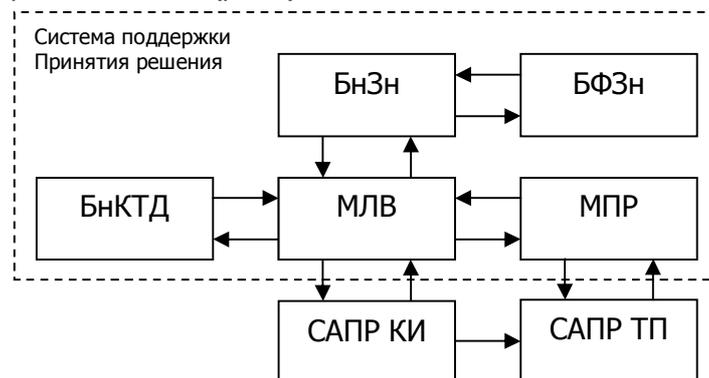


Рис.6. Схема взаимодействия интеллектуальной системы поддержки принятия решения при выборе метода упрочняющей обработки деталей машин с автоматизированными системами конструкторского и технологического проектирования

С помощью модуля логического вывода (МЛВ) и модуля принятия решения (МПР) при взаимодействии с САПР КИ осуществляется выбор вида и метода упрочняющей обработки при проектировании ответственных деталей машин, а при взаимодействии с САПР ТП – выбор и проектирование технологии упрочняющей обработки таких деталей. При решении этих задач МЛВ

использует банк знаний БнЗн и банк конструкторско-технологических данных БНКТД. Формирование банка знаний осуществляется экспертами с помощью блока формализации знаний (БФЗн).

К функциям модуля логического вывода следует отнести:

- отбор из множества рассматриваемых методов упрочняющей обработки группы методов, обеспечивающих достижение требуемых параметров качества поверхностного слоя – первичная выборка;
- построение для каждого элемента первичной выборки математической модели упрочняющей обработки детали, определяющей влияние режимов обработки на формируемые параметры качества поверхностного слоя с учётом технологической наследственности;
- оптимизация математических моделей относительно режимов обработки; расчёт параметров качества поверхностного слоя, получаемых в результате упрочняющей обработки при определённых режимах обработки.

Модуль принятия решения предполагает решение следующих задач:

- построение математических моделей формирования себестоимости упрочняющей обработки в зависимости от некоторого уровня долговечности детали для всех элементов первичной выборки;
- определение себестоимости упрочняющей обработки при фиксированных значениях параметров качества поверхностного слоя и режима обработки; оптимизация математической модели формирования себестоимости относительно режимов обработки при условии обеспечения требуемой долговечности;
- отбор из элементов первичной выборки методов упрочняющей обработки, обеспечивающих минимальную себестоимость, – вторичная выборка.

Основным результатом работы интеллектуальной системы поддержки принятия решения является выбор метода упрочняющей обработки, имеющего наименьшую себестоимость, и режимов обработки, позволяющих обеспечить требуемые параметры качества поверхностного слоя и определяемых из условия максимальной долговечности деталей. Кроме того, интеллектуальная система предполагает возможность проведения расчётов долговечности деталей, а также оценку влияния режимов упрочняющей обработки на долговечность детали.

Интеллектуальная система поддержки принятия решения даёт возможность решать прямую и обратную задачи технологического проектирования. Использование интеллектуальной системы выбора метода упрочняющей обработки в интегрированных САПР позволяет конструктору обоснованно назначать требования к упрочняющей обработке ответственных деталей машин, а технологу обоснованно производить выбор способа и режимов упрочняющей обработки при проектировании технологических процессов их изготовления.

**Выводы:** 1. Исследования показали, что задача выбора метода упрочняющей обработки в интегрированных САПР может быть решена путем создания интеллектуальных систем поддержки принятия решения на основе автоматизированных банков данных и банков знаний методов упрочняющей обработки.

2. Создание интеллектуальных систем поддержки принятия решения и соответствующих автоматизированных банков данных и банков знаний требует формализации описания технологических возможностей методов упрочняющей обработки, а также разработки соответствующих алгоритмов и программного обеспечения для их выбора.

3. Для решения этих задач требуется обобщение большого объёма теоретических и экспериментальных исследований и учет всех накопленных данных в этой области, что является основной задачей дальнейших исследований.

### Библиографический список

1. Попов М.Е. Основы САПР технологических операций упрочняющей обработки: учеб. пособие / М.Е. Попов; РИСХМ. – Ростов н/Д, 1987. – 91 с.
2. Попов М.Е. Проектирование операций упрочняющей обработки деталей машин методами ППД / М.Е. Попов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2010. – №7. – С. 11–20.
3. Попов М.Е. Формализованное описание структуры базы данных методов упрочняющей обработки в интегрированных САПР / М.Е. Попов // Вестн. Донск. гос. техн. ун-та. – 2000. – (Проблемы производства машин). – С. 88–91.

4. Горелова Г.В. Метод оптимума номинала и его применение / Г.В. Горелова, В.В. Здор, Д.В. Свечарник. – М.: Энергия, 1970. – 200 с.
5. Попов М.Е. Разработка и постановка продукции на производство на основе структурирования функции качества / М.Е. Попов, А.М. Попов // Вестник машиностроения. – 2000. – №7. – С. 52-58.
6. Маслов Н.Н. Эффективность и качество ремонта автомобилей / Н.Н. Маслов. – М.: Транспорт, 1981. – 304 с.
7. САПР. Типовые математические модели объектов проектирования в машиностроении: метод. указания. РД 50-464-84. – М.: Стандарты, 1985. – 200 с.
8. Попов М.Е. Интеграция конструкторского и технологического проектирования на основе концепции Concurrent Engineering / М.Е. Попов, А.М. Попов // Вестник машиностроения. – 1998. – №4. – С. 41-45.

Материал поступил в редакцию 01.02.11.

### References

1. Popov M.E. Osnovy SAPR tehnologicheskikh operacii uprochnyayuschei obrabotki: ucheb. posobie / M.E. Popov; RISHM. – Rostov n/D, 1987. – 91 s. – In Russian.
2. Popov M.E. Proektirovanie operacii uprochnyayuschei obrabotki detalei mashin metodami PPD / M.E. Popov // Uprochnyayuschie tehnologii i pokrytiya. – 2010. – №7. – S. 11–20. – In Russian.
3. Popov M.E. Formalizovannoe opisaniye struktury bazy dannykh metodov uprochnyayuschei obrabotki v integrirovannykh SAPR / M.E. Popov // Vestn. Donsk. gos. tehn. un-ta. – 2000. – (Problemy proizvodstva mashin). – S. 88-91. – In Russian.
4. Gorelova G.V. Metod optimuma nominala i ego primeneniye / G.V. Gorelova, V.V. Zdor, D.V. Svecharnik. – M.: Energiya, 1970. – 200 s. – In Russian.
5. Popov M.E. Razrabotka i postanovka produkciy na proizvodstvo na osnove strukturirovaniya funkciy kachestva / M.E. Popov, A.M. Popov // Vestnik mashinostroeniya. – 2000. – №7. – S. 52-58. – In Russian.
6. Maslov N.N. Effektivnost' i kachestvo remonta avtomobiley / N.N. Maslov. – M.: Transport, 1981. – 304 s. – In Russian.
7. SAPR. Tipovye matematicheskie modeli ob'ektov proektirovaniya v mashinostroenii: metod. ukazaniya. RD 50-464-84. – M.: Standarty, 1985. – 200 s. – In Russian.
8. Popov M.E. Integraciya konstruktorskogo i tehnologicheskogo proektirovaniya na osnove koncepcii Concurrent Engineering / M.E. Popov, A.M. Popov // Vestnik mashinostroeniya. – 1998. – №4. – S. 41-45. – In Russian.

## **DECISION MAKING SUPPORT SYSTEM UNDER METHOD SELECTION OF CAR PARTS STRENGTHENING PROCESS IN INTEGRATED CAD/CAM SYSTEMS**

**M.E. POPOV, M. ABUHARB**  
(Don State Technical University)

*Selection task formalization of the strengthening treatment method through engineering and technological car design in the integrated CAD/CAM is considered. Direct and inverse problems of the strengthening treatment method selection have been formulated. The decision making support system under the strengthening treatment method selection of car parts in the integrated CAD/CAM systems is offered.*

**Keywords:** *selection task formalization, strengthening treatment, direct and inverse problems, integrated CAD/CAM systems.*